

一种筒节用钢的超标缺陷分析

■ 鲁莎, 邵奎祥, 孙丽坤

摘要: 某公司生产的一种筒节用钢经无损检测存在超标缺陷。通过无损检测定位和解剖取样, 采用光学显微镜和电镜能谱分析, 确定其为氧化物夹杂, 并讨论其可能成因。

关键词: 缺陷; 夹杂物; 检测

某公司生产的一种筒节用钢锻件经粗加工后无损检测, 发现内部存在超标缺陷。为进一步确认其缺陷的性质, 对该锻件进行了检测定位、解剖取样, 及金相和电镜能谱分析。

1. 检测定位取样

检测发现该锻件内部缺陷严重超标, 有的区域存在有 $\phi 2 \sim \phi 4 \text{ mm}$ 当量的密集性缺陷, 也

有的区域存在有大于 $\phi 4 \text{ mm}$ 当量的单个缺陷。检测定位后在缺陷严重超标的部位分别切取有单个大当量缺陷(编为1号料)和密集性缺陷(编为2号料)的两块试料。

对于1号料, 为确定单个大当量缺陷在试料中准确位置和大体分布形态, 以便决定如何进一步取样, 在检测站对试料进行精确检测定位, 进一步确认缺陷的

具体位置, 检测还发现此缺陷呈片状分布。

对于2号料, 为确定密集性缺陷在试料中准确位置和大体分布形态, 以便决定如何进一步取样, 首先对其进行低倍检验。2号料径向面用10%~20%过硫酸铵水溶液冷酸洗低倍检验形貌(见图1), 在检验面上呈现有较均匀、较密集分布的偏析线, 最长约为8mm, 最宽不超

来, 可能与本试验的锻后冷却方式和锻前加热温度测定手段有关。试件经高温变形后直接入300℃电炉内, 由于锻件本身热量使炉温升高, 升至680℃后保温3h。在这个过程中, 首先减慢了高温阶段(900~970℃)的冷却速度, 有可能使AIN在此阶段先析出一部分于奥氏体晶界上; 又由于随后的680℃保温3h, 提前完成了AIN的低温析出(低温析出峰)过程, 使得随后的正火、回火对本质晶粒度的影响不明显。另外, 锻前加热温度测定

误差较大, 温度间隔小, 即 F 检验显著性小。

5. 结语

(1) 锻造加热温度应高一些(1250℃)。

(2) 变形程度不宜过大($\leq 46\%$, 锻后入炉300℃电炉, 待炉升至680℃保温3h, 出炉空冷)。

(3) 正火温度低一些(930℃)。

(4) 回火温度适中(710℃)。

采用上述工艺参数, 只要棒

材本晶合格, 就可以提高锻件本质晶粒度的合格率。

根据上述四个参数, 又进行了补充试验。试验用料采用第21、223试验号的剩余试块(1250℃锻造, 变形量22%未正火、回火), 进行930℃正火, 保温2h, 710℃回火, 保温3h。试验结果为: 21号7级、22号8级、23号6级。补充试验结果, 进一步说明了本试验结论。

作者简介: 董芳, 中航工业惠阳航空螺旋桨有限责任公司。

MW 20161213

过1mm，并且均与径向线垂直，未发现有其他冶金缺陷。

对2号料沿轴向面连续锯切3片，其中一片进行轴向面低倍检验，另两片加工出8支冲击试样后取断口试样和金相试样。轴向低倍检验面显示有与上述径向低倍检验面相同的偏析线缺陷形貌，而周向低倍检验面偏析线呈任意曲线、略呈不规则网状分布的形貌特征，线的宽度相对较大（见图1）。

2号料三个面的低倍检验结果，说明材料的偏析较为严重，在径向面和轴向面内约呈直线状，而在周向面内呈任意较粗曲线，并略呈不规则网状分布的形貌特征，这种形貌特征应与材料锻造时的变形方向有关，这种偏析需经高倍金相进一步检验和分析。

未在上述低倍检验中发现有其他冶金缺陷，可能有以下原因：无损检测到此区域有密集性缺陷，但 ϕ 当量均较小，可能被低倍检验面中严重的偏析形貌所掩盖，因此分别取8块断口试样和高倍金相试样继续检验，查找密集性缺陷。

2. 高倍及电镜能谱检测

在1号料单个探伤缺陷处取样，因缺陷当量大于 $\phi 4\text{mm}$ ，采取在径向面上每次用铣床铣掉1mm进行抛光的方法，反复铣、抛三次后，肉眼观察在金相面上露出线状缺陷，进一步磨抛后，缺陷长度达3.3mm。继续对样品进行反复打磨、抛光和测量缺陷的长度，测得缺陷最大长度为4.2mm，说明缺陷实际最大长度

至少为4.2mm。

在光学显微镜下，发现上述缺陷为夹杂物偏聚（见图2），从夹杂物的尺寸和偏聚程度上看，夹杂物以外来夹杂为主。

用扫描电镜和能谱仪对上述偏聚的夹杂物进行多点成分分析，发现其成分中主要含有Al和O，同时有少量Ca和Mg，其中在各点处Mg含量的波动较大，见图3成分能谱图和附表中各点成分测量值，从表1中各点成分的

原子百分比上看，其夹杂性质为氧化物，以 Al_2O_3 为主，同时有少量的CaO和MgO。

对2号料，根据低倍检验结果在各处共取8块高倍金相试样，金相检验发现有3块金相试样中B类和C类夹杂严重超标（大于2.5级），在周向面上夹杂成堆偏聚（见图4），在径向面和轴向面上夹杂呈链状分布（见图5）。正是这些成堆偏聚分布的夹杂在无损检测时以密集



图1 径向和周向冷酸洗低倍检验面形貌



图2 单个大当量探伤缺陷在光学显微镜下形貌

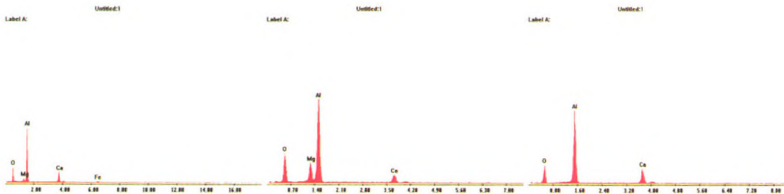


图3 夹杂物各处成分能谱

夹杂物各处成分能谱测量结果

各夹杂 测量点 编号	质量分数 (%)					原子分数 (%)				
	O	Al	Mg	Ca	Fe	O	Al	Mg	Ca	Fe
1	35.87	43.09	3.33	13.69	4.02	51.08	36.38	3.12	7.78	1.64
2	37.15	45.60	10.32	6.93	0	50.38	36.66	9.21	3.75	0
3	37.52	46.80	0	15.69	0	52.45	38.79	0	8.76	0

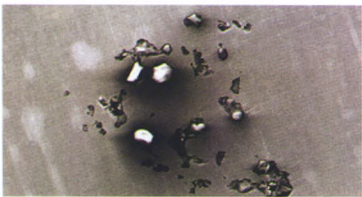


图4 夹杂成堆偏聚SEM形貌



图5 夹杂呈链状分布SEM形貌

性缺陷的形式表现出来。

应用扫描电镜和能谱仪对夹杂物进行逐点成分分析，其分析结果与1号料单个检测缺陷夹杂物的能谱分析结果相同，说明其夹杂物的性质是相同的。

针对上述低倍检验材料偏析较为严重的现象，取高倍试样进行观察，其组织偏析主要是由碳偏析所致（见图6），其中偏析区碳含量较高，显微组织为贝氏体回火组织（见图7），非偏析区碳含量较低，显微组织为铁素体+贝氏体回火组织+极少量碳化物（见图8），这是由于碳含量高淬透性好。虽然材料内部偏析较为严重，但并未破坏基体的连续性，因此不会成为无损检测缺陷。

3. 断口检验及电镜能谱检测

对2号料，根据低倍检验结果取8块冲击试样打制断口，正常断口形态为结晶状，但有3对匹配断口中有局部区域无金属光泽、形态异常。在扫描电镜下，断口中正常区域形态呈准解理状（见图9），而异常区域有严重偏聚的夹杂物和显微孔隙（见图10~图12），这是金相检验中看到的偏聚分布的夹杂在断口中的表现形式。

应用扫描电镜和能谱仪对各断口中异常区域偏聚的夹杂物进行了微区成分分析，其成分中均主要有Al和O元素，同时有少量的Ca和Mg元素，各点处Mg含量的波动较大，其夹杂性质为氧化物，以 Al_2O_3 为主，同时含有少量的CaO和MgO。这与1号料单个大当量夹杂物偏聚区缺陷、2号料高倍金相试样中夹杂物偏聚区缺陷的检测结果是相同的。

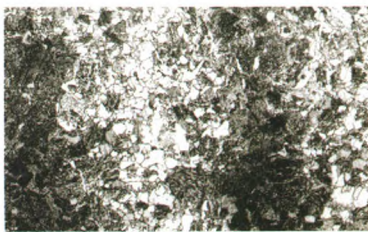


图6 材料组织偏析形貌



图7 偏析区显微组织形貌



图8 非偏析区显微组织形貌

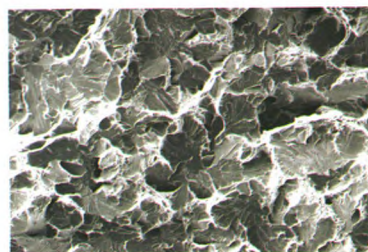


图9 准解理状显微断口形貌

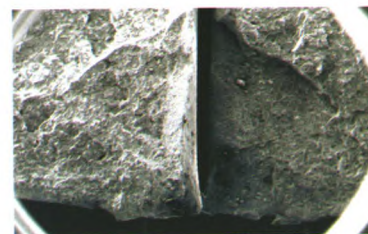


图10 断口中异常区域低倍形貌

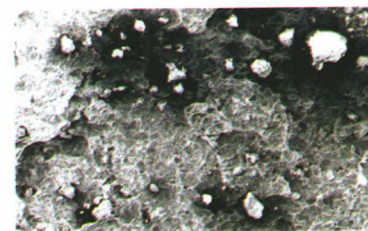


图11 断口中异常区域形貌

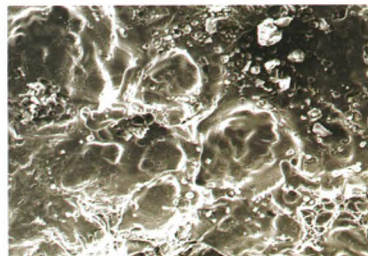


图12 夹杂和显微孔隙自由面并存的形貌

4. 结语及讨论

综合上述检验结果，锻件内部大于 $\phi 4\text{mm}$ 当量的单个无损检测缺陷和 $\phi 2\sim\phi 4\text{mm}$ 当量的密集性缺陷的性质均为以氧化物夹杂为主的夹杂偏聚区，这种氧化物夹杂偏聚区在锻件内部以片状形态分布，其氧化物以 Al_2O_3 为主，同时有少量的CaO和MgO。其产生原因可能是炼钢过程中碱性渣与钢中溶解铝的反应产物或者是用Ca-Si和铝共同脱氧的产物，生成钙铝酸盐。要严格控制炼钢工艺及过程，避免超尺寸夹杂物的产生。

参考文献

- [1] 机械工业理化检验人员技术培训和资格鉴定委员会. 金相检验[M]. 上海: 上海科学普及出版社, 2003.
- [2] 姜锡山. 钢中非金属夹杂物[M]. 北京: 冶金工业出版社, 2011.
- [3] 冯春雨. 浅谈合金元素在钢中的作用[J]. 冶金标准化与质量, 1996 (8) .

作者简介: 鲁莎、邵奎祥、孙丽坤, 天津重型装备工程研究有限公司。

MW 20170316